

干湿叠合式装配式地铁车站施工关键技术及应用

张秀星

中国电建市政建设集团有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i5.4773

[摘要] 为破解传统现浇地铁车站施工效率低、环境影响大、质量控制难等瓶颈,干湿叠合式装配式施工技术凭借“工厂预制、现场装配、干湿结合”的核心优势,成为地铁工程工业化升级的重要方向。本文以该技术为研究对象,系统阐述其技术原理与核心特征,深入剖析预制构件工厂精细化生产、现场精准吊装定位、干湿叠合施工协同、拼缝防水密封等关键技术要点。结合深圳地铁15号线深大南站工程实例,通过施工数据对比验证技术可行性,为装配式地铁车站的规模化应用提供技术支撑与实践参考。

[关键词] 地铁车站; 干湿叠合; 装配式施工; 预制构件; 接缝防水; 施工技术

中图分类号: TV52 文献标识码: A

Key technologies and applications of dry-wet composite prefabricated metro station construction

Xiuxing Zhang

PowerChina Municipal Construction Group Co., Ltd.

[Abstract] To address the challenges of low efficiency, significant environmental impact, and quality control difficulties in traditional cast-in-place subway station construction, dry-wet composite prefabricated construction technology has emerged as a crucial direction for industrial upgrading in metro engineering. Leveraging its core advantages of "factory prefabrication, on-site assembly, and dry-wet integration," this paper systematically examines the technical principles and key characteristics of the technology. It provides an in-depth analysis of critical aspects including precision manufacturing of prefabricated components, accurate on-site positioning and installation, coordinated dry-wet composite construction, and waterproof joint sealing. Using the Shenzhen Metro Line 15 Shenda South Station project as a case study, the research validates the technical feasibility through construction data comparison, offering technical support and practical references for large-scale application of prefabricated subway station construction.

[Key words] subway station; dry-wet composite; prefabricated construction; prefabricated components; joint waterproofing; construction technology

引言

传统地铁车站多采用明挖现浇施工工艺,需现场进行大量钢筋绑扎、模板支护及混凝土浇筑作业,存在施工周期长、劳动力需求大、扬尘噪声污染严重等问题,难以适应城市核心区施工的严苛要求^[1]。在此背景下,装配式施工技术因具有标准化生产、工业化装配、绿色化施工等特点,逐步应用于地铁工程领域。然而,全装配式车站存在构件自重过大、运输吊装难度高、接缝防水风险大等不足,而干湿叠合式装配式技术通过“预制叠合构件+现场叠合层施工”的组合模式,既保留了装配式施工的高效优势,又通过现场湿作业增强了结构整体性,有效弥补了全装配式技术的缺陷。目前,该技术已在无锡、深圳等城市的地铁工程中试点应用,但关于其施工关键技术体系及工程实效的系统性

研究仍较为匮乏。基于此,本文结合实际工程案例,深入探讨干湿叠合式装配式地铁车站的施工技术要点,为其技术优化与推广应用提供理论与实践依据^[2]。

1 干湿叠合式装配式地铁车站技术原理及核心特征

1.1 技术原理

干湿叠合式装配式地铁车站以“工厂预制构件为骨架、现场叠合层为纽带”,通过预制与现浇的有机结合实现结构成型。其核心原理为:在工厂标准化生产侧墙、中立柱、中板、纵梁、顶板等预制构件,预制侧墙底部和顶部分别设置型钢立柱和插槽,立柱、板、墙连接采用预埋螺栓和钢筋接驳器、环扣钢筋等连接构造,构件运输至现场后,通过吊装设备精准就位安装;构件侧墙、顶板拼缝处安装加强钢筋笼后,浇筑混凝土形成叠合层,

使预制构件与现浇混凝土形成整体受力结构。其中,“干作业”指预制构件的工厂生产、运输及现场吊装等作业环节,“湿作业”指现场叠合层混凝土浇筑及接缝处理等环节,通过干湿作业的协同配合,兼顾施工效率与结构性能^[3]。

1.2 核心特征

相较于传统现浇工艺及全装配式工艺,干湿叠合式技术具有三大核心特征:一是结构整体性优异,通过叠合层现浇混凝土与预制构件的刚性连接,解决了全装配式结构接缝受力薄弱的问题,结构抗裂性、抗渗性及抗震性能均达到现浇结构标准;二是施工效率高效,预制构件工厂生产与现场基坑开挖同步进行,实现平行作业,大幅缩短施工周期,相较于现浇工艺工期可缩短30%~40%;三是绿色环保优势显著,工厂预制减少了现场混凝土用量及钢筋加工损耗,现场湿作业量仅为现浇工艺的40%,有效降低了扬尘、噪声及建筑垃圾排放,符合绿色施工要求^[4]。

2 干湿叠合式装配式地铁车站施工关键技术

2.1 预制构件工厂精细化生产技术

精细化管理是以提升效率、减少资源消耗为目标的管理模式,预制构件的质量直接决定车站结构性能,需建立全流程精细化生产管控体系,重点把控模具设计、钢筋加工、混凝土浇筑及养护等关键环节。模具设计采用模块化、可调式结构,根据构件尺寸参数定制钢模,模具精度控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内,确保构件几何尺寸一致性;钢筋加工采用自动化生产线,通过BIM技术建立钢筋模型,模拟节点处钢筋碰撞,实现型钢加工、钢筋下料、弯曲、绑扎的精准化,钢筋间距误差控制在 $\pm 5\text{mm}$,接驳器定位偏差不超过 $\pm 3\text{mm}$ 。混凝土浇筑采用分层浇筑工艺,每层厚度控制在300mm,使用插入式振捣器振捣密实,振捣时间为20~30s,直至混凝土表面无气泡溢出;浇筑完成后采用蒸汽养护工艺,养护温度控制在50~60℃,相对湿度 $\geq 90\%$,养护时间不少于12h,确保混凝土强度达标。构件出厂前需进行外观质量、尺寸偏差及强度检测,外观表面平整度误差 $\leq 3\text{mm}/\text{m}$,无裂缝、露筋等缺陷,混凝土立方体抗压强度 $\geq C40$,检测合格后方可出厂运输。

2.2 现场精准吊装与定位技术

现场吊装是装配式施工的核心环节,需结合构件重量、施工流向及施工现场条件,制定专项预制件吊装拼装方案。以深圳地铁15号线深大南站站侧墙预制构件为例,构件最大单重25t,采用50t智能龙门吊+拼装台车进行吊装,构件运输采用侧面“四点吊”,拼装时利用侧面两吊点、顶部的两吊点,完成由水平到竖向的翻身,吊具选用专用钢丝绳,与构件吊点通过卸扣连接牢固。侧墙底部通过预制件预埋的型钢插槽进行连接,吊装过程中安排专人指挥,采用全站仪等仪器实时监测构件姿态,确保构件吊装垂直度偏差 $\leq 1\%$ 。构件就位后,通过顶部临时拉杆进行固定,每块侧墙顶部设置2个拉杆,通过围护结构上提前预埋锚板进行连接,确保构件临时固定稳定性。定位精度控制采用“三维坐标法”,通过全站仪对构件的X、Y、Z三个方向进行精准定位,定位误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内,定位完成后再次复核构件位置及垂直度,确认无误后进入下一道工序。

2.3 叠合层干湿施工协同技术

叠合层施工是实现预制构件与现浇结构一体化的关键,需解决干湿作业衔接及施工协同问题。预制构件叠合面粗糙面面积不宜小于结合面的80%,预制板的粗糙面凹凸深度不应小于6mm,预制件脱模后采用高压水冲洗露出骨料,叠合面粗糙面可在混凝土初凝前进行拉毛处理。叠合层主要为侧墙叠合层和顶板叠合层两部分,叠合层施工分段长度宜为15~18m,叠合层钢筋绑扎需与预制构件预留钢筋精准对接,叠合层混凝土浇筑采用补偿收缩混凝土,混凝土坍落度控制在 $180\pm 20\text{mm}$,确保混凝土流动性满足施工要求。浇筑过程中需重点关注预制构件与叠合层结合部位,采用小型振捣棒振捣密实,防止出现蜂窝、麻面等缺陷。浇筑完成后及时采用土工布覆盖并洒水保湿养护,养护时间不少于14d。施工过程中建立干湿作业协同机制,预制构件吊装完成后48h内必须开展叠合层钢筋绑扎作业,钢筋绑扎完成后24h内进行叠合层混凝土浇筑,避免预制构件叠合面长时间暴露导致构件位移变形。

2.4 拼缝防水密封关键技术

拼缝防水是地铁车站施工的重难点,干湿叠合式结构接缝主要包括预制构件之间的水平接缝及垂直接缝,需采用“多道设防、刚柔结合”的防水体系。水平接缝采用“遇水膨胀止水条+外贴式止水带+密封胶”的复合防水构造,其中水平施工缝处防水为钢板止水带+水泥基渗透结晶型防水涂料+止水胶条+注浆管+压缩密封体;环向施工缝处防水为顶板、侧墙部位为镀锌钢板止水带+水泥基渗透结晶型防水涂料+止水胶+超细水泥灌浆+压缩密封体+聚氨酯密封胶;中板部位为防水卷材+防水砂浆+压缩密封体+聚氨酯密封胶。预制构件生产时在接缝位置预留止水条凹槽,止水条选用膨胀率 $\geq 300\%$ 的遇水膨胀橡胶条,安装前需清理凹槽内杂物,止水条安装到位后采用专用固定件固定,防止移位。垂直接缝采用“中埋式止水带+背贴式止水带+混凝土密封”的防水构造,中埋式止水带选用橡胶止水带,宽度为350mm,厚度为6mm,安装时确保止水带中心线与接缝中心线重合,偏差 $\leq 5\text{mm}$ 。接缝混凝土浇筑前,在接缝两侧涂刷混凝土界面剂,增强新旧混凝土结合性能;浇筑时采用坍落度较小的混凝土($140\pm 20\text{mm}$),通过振捣棒重点振捣接缝部位,确保混凝土密实。侧墙叠合混凝土构件出现渗漏,需在渗漏区域,利用预埋注浆孔或新增注浆孔采用压力注浆处理。

3 工程应用实例

3.1 工程概况

深圳地铁15号线深大南站为地下三层岛式车站,车站总长164.9m,装配段长度105m,标准段宽度21.5m,基坑深度25m,主体结构采用现浇结构+干湿叠合式预制装配施工工艺。车站底板全部采用现浇施工,主体装配率达64%,车站主体装配结构由35环、7类预制构件组成,预制件宽度2.99m,其中侧墙179件,中立柱39件,中板142件,纵梁36件,顶板70件,暗梁暗柱27件,预制构件总数493件。工程地处城市核心区域,周边建筑物密集,环境保护要求高,施工工期紧张,节点工期为10个月,采用传统现浇工艺预

计工期需16个月,因此选用干湿叠合式装配式技术以缩短工期、降低环境影响。

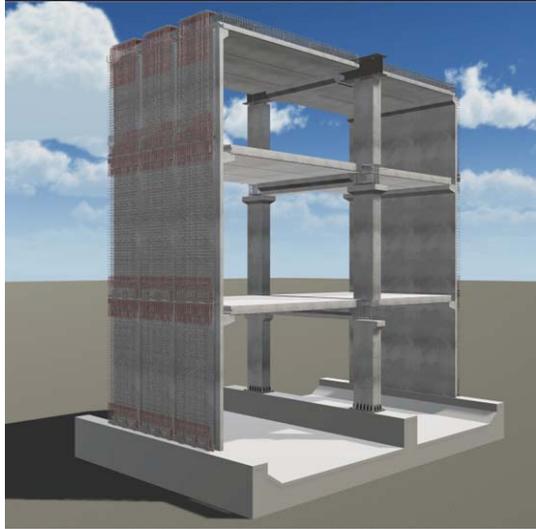


图1 装配式结构标准断面示意图

3.2 施工效果分析

表1 施工效果

评价指标	干湿叠合装配式工艺	传统现浇工艺	提升/优化效果
主体结构施工工期(月)	10	16	工期缩短37.5%
混凝土强度达标率(%)	100	95	达标率提升5%
现场建筑垃圾排放量(t/千m ²)	12	60	排放量减少80%
现场劳动力用量(人/天)	65	150	用量减少56.7%
拼缝防水合格率(%)	96	92	合格率提升4.3%
工程总成本(万元)	8000	8200	成本降低2.4%

为验证干湿叠合式装配式技术的应用效果,对该车站施工过程中的工期、质量、环保及经济性指标进行统计,并与传统现浇工艺进行对比,具体数据见表1。

由表1数据可知,该车站采用干湿叠合式装配式施工工艺后,主体结构施工工期从传统现浇工艺的16个月缩短至10个月,工

期缩短37.5%,有效满足了紧张的施工进度要求;混凝土强度达标率100%,拼缝防水合格率提升4.3%,结构质量显著提升;现场建筑垃圾排放量减少80%,劳动力用量减少56.7%,有效降低了施工对周边环境的影响,减少了劳动力投入;工程总成本降低2.4%,实现了工期、质量、环保及经济性的协同优化。此外,车站主体结构预计完工后最大沉降量为8mm,沉降速率 ≤ 0.5 mm/月,满足地铁车站结构沉降控制要求,进一步验证了该技术的可靠性。

4 结论

本文通过对干湿叠合式装配式地铁车站施工技术的系统研究及工程应用验证,得出以下结论:一是干湿叠合式技术通过“预制+现浇”的组合模式,有效兼顾了施工效率与结构整体性,解决了全装配式结构接缝薄弱及传统现浇工艺效率低的问题,具有显著的技术优势;二是预制构件工厂精细化生产、现场精准吊装定位、叠合层干湿施工协同及接缝防水密封是该技术的核心要点,需通过模具精度控制、三维定位、协同作业机制及复合防水体系等措施确保施工质量;三是工程实例表明,该技术可使地铁车站主体结构施工工期缩短35%以上,建筑垃圾减少80%,混凝土强度合格率达到100%,拼缝防水合格率有所提升,同时降低工程成本,具有良好的经济与社会效益。

[参考文献]

- [1]杨智慧.装配式地铁车站的施工要点[J].城市轨道交通研究,2024,27(04):279-280.
- [2]秦旺.全预制装配式地铁车站拼装节点优化及整体稳定性研究[D].山东大学,2024.
- [3]郭亮.预制装配式地铁车站施工技术与造价控制分析[J].工程建设与设计,2024,(11):158-160.
- [4]龚小林.装配式地铁车站公共区装修施工工艺研究[J].科学技术创新,2024,(23):134-137.

作者简介:

张秀星(1984--),男,汉族,山东省聊城市临清县人,本科,工程师,主要工作领域为城市轨道交通工程施工单位,从事土建结构施工的技术管理工作。